SPIXIANA	7	1	85–89	München, 1. März 1984	ISSN 0341-8391

Trendanalyse zur Erfassung von Veränderungen der Individuenzahlen in wandernden Tierpopulationen durch Zählungen an den Rastplätzen

Von **Hubert Fechter**

Zoologische Staatssammlung, München

Abstract

Trendanalysis to evaluate changes in the number of individuals of migrating populations by counting on resting places.

In migrating populations resting places offer good opportunities for counting the number of individuals belonging to a certain population. Unfortunately incoming and outgoing individuals can mostly not be distinguished readily from those which are just moving around searching for food. It is shown that by summing up all the counts carried out in equal time intervals during the resting period, a measure can be gained to evaluate the tendency of stock changes in the population. Assumed that the average duration of stay is constant, a trendline can be estimated by regression of the total sum of counts within each resting period, on the sequence of periods in a long term monitoring program.

Einleitung

Die Überwachung der Bestandsentwicklung von Tierpopulationen gewinnt, besonders im Hinblick auf die Einschätzung ihrer möglichen Gefährdung durch Umwelteinflüsse, zunehmend an Bedeutung. Ein Spezialfall in diesem Bereich – auf den mich der Ornithologe J. Reichholf aufmerksam gemacht hat, und der Anlaß zu dieser Untersuchung war – ist die Erfassung wandernder Vogelpopulationen. Bei ihnen bietet sich häufig der Vorteil, die Anzahl der an Schlaf-, Ruhe- oder Rastplätzen sich aufhaltenden Individuen mehr oder weniger bequem durch Zählungen bestimmen zu können. Die Situation wird in der Praxis jedoch meist dadurch kompliziert, daß sich die Tiere über längere Zeit auf den Rastplätzen aufhalten und sich Neuankömmlinge oder Weiterwanderer weder von den bereits Verweilenden noch den bloßen „Ausflüglern", die beispielsweise zur Nahrungssuche ausschwärmen oder von ihr zurückkehren unterscheiden lassen. Zur Analyse des Geschehens stehen theoretisch drei Größen zur Verfügung: die Zu- und die Abwanderungsrate sowie die Menge der Verweilenden. Wäre eine der beiden Wanderungsraten und ihr zeitlicher Verlauf bekannt, also entweder die Zu- oder die Abwanderungsrate, so ließe sich die Individuenzahl der durchwandernden Population durch einfache Summierung der im Beobachtungszeitraum pro Zeiteinheit Ankommenden oder Abwandernden leicht berechnen. Dies ist jedoch wegen der oben geschilderten Durchmischung, die eine Unterscheidung von Zu- und Abwanderungsvorgängen unmöglich macht, nicht durchführbar. Das bedeutet, daß sich die absolute Individuenzahl der durchwandernden Population nicht ermitteln läßt. Die einzige meßbare Größe ist die jeweils am Rastplatz sich aufhaltende Menge der Verweiler. Die Frage ist, ob sich aus der beobachtbaren Größe, d. h. aus dem zeitlichen Verlauf der am Rastplatz jeweils verweilenden Menge von Individuen Rückschlüsse auf Veränderungen in den überwachten Populationen und die Richtung der Bestandsentwicklung – zunehmend oder abnehmend – ziehen lassen. Anders ausgedrückt, ist es möglich ein Maß zu gewinnen, das zwar nicht die Populationsgröße als solche wiedergibt, an dem sich aber Veränderungen derselben zuverlässig ablesen lassen?

Theoretische Zusammenhänge der beteiligten Größen

Die einzig bestimmbare Größe, die Menge der Verweiler, genauer gesagt, die Anzahl der Individuen, die sich zu einem bestimmten Zeitpunkt gerade am Rastplatz aufhalten, gehorcht folgender Bilanzgleichung zwischen Zu- und Abwanderung:

$$\frac{\text{Verweiler}}{\text{Zeit}} = \text{Zuwanderungsrate} - \text{Abwanderungsrate}$$

Bezeichnet man mit $z = z(t)$ die Funktion der zeitlich veränderlichen Zuwanderungsrate und mit $w = w(t)$ jene der ebenfalls zeitabhängigen Abwanderungsrate, und setzt voraus, daß beide Funktionen nicht negativ, stetig und differenzierbar sind, sowie die Bedingungen

$$z(t) = 0 \text{ für } 0 \geqq t \geqq t_z$$
$$w(t) = 0 \text{ für } t_w \geqq t \geqq T$$

erfüllen, wobei t_z den Zeitpunkt angibt zu dem die Zuwanderung beendet ist, t_w den Beginn der Abwanderung markiert und T den zeitlichen Endpunkt des gesamten Durchzuges kennzeichnet, so gilt für obige Bilanzgleichung:

$$\frac{dv}{dt} = z(t) - w(t) \quad (1)$$

Die Funktionen z(t) und w(t) werden im Prinzip den in Abb. 1a skizzierten Verlauf haben. Nach dem Einsetzen der entsprechenden Wanderungsbewegung wird die Rate [Individuen/Zeiteinheit] zunächst ansteigen, irgendwann ein Maximum erreichen und danach abfallen. Durch Integration von $z = z(t)$ bzw. $w = w(t)$ über die Zeit ergibt sich die Individuen-Menge der Zu-, bzw. Abwanderer, die zum Zeitpunkt x den Rastplatz erreicht respektive verlassen hat.

$$m_z = \int_0^x z \, dt; \qquad m_w = \int_0^x w \, dt \quad (2)$$

In Abb. 1b ist der aus dem in Abb. 1a dargestellten Beispiel resultierende Kurvenverlauf der Funktionen m_z bzw. m_w wiedergegeben. Die Größen m_z und m_w sind, wie aus (2) ersichtlich, ihrerseits Funktionen der Zeit:

$$m_z = s_z(t) \quad \text{und} \quad m_w = s_w(t) \quad (3)$$

Um den Zusammenhang zwischen $s_z(t)$, $s_w(t)$ und der meßbaren Größe $v = v(t)$ herzustellen, müssen wir zur Gleichung (1) zurückkehren. Durch ihre Integration ergibt sich:

$$s_z(t_z) = s_w(T) \quad (4)$$

Da am Ende des Durchzuges (Geburten und Todesfälle während des Aufenthaltes ausgeschlossen) die Menge der Angekommenen und Abgewanderten gleich groß sein muß, ist ferner

$$v = \int z \, dt - \int w \, dt \quad (5)$$

Die Menge der Verweiler zu einem bestimmten Zeitpunkt x errechnet sich aus dem Doppelintegral über das entsprechende, zwischen $s_z(t)$ und $s_w(t)$ eingeschlossene Flächenstück (vgl. Abb. 1b).

$$v(x) = \int_0^x \int_{s_w(t)}^{s_z(t)} dm \, dt = \int_0^x s_z \, dt - \int_0^x s_w \, dt \quad (6)$$

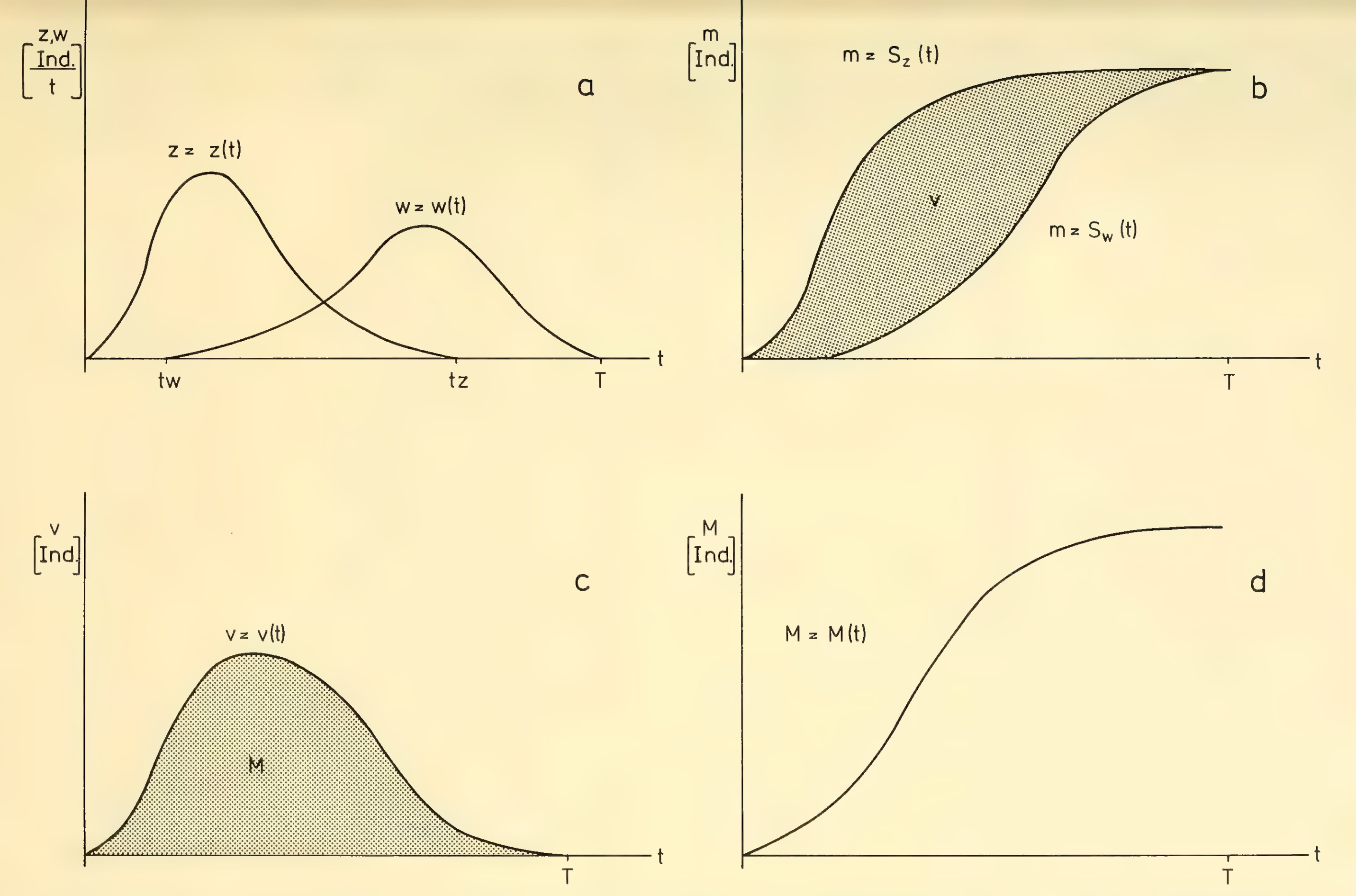


Abb. 1: Kurvenbilder der einzelnen Funktionen. a: Etwaiger Verlauf der Zuwanderungs- (z) und Abwanderungsrate (w); t_w Beginn der Abwanderung; t_z Ende der Zuwanderung; T Durchzugsdauer; b: Summenkurve der Zugewanderten (s_z) und der bereits wieder abgewanderten (s_w) Individuen; die zwischen beiden Kurven eingeschlossene, punktierte Fläche entspricht der Menge der Verweiler; c: Zeitlicher Verlauf der Anzahl von Individuen, die sich am Rastplatz aufhalten; die punktierte Fläche entspricht der Gesamtmenge an Individuen, die während der ganzen Durchzugsdauer T auf dem Rastplatz anwesend war; d: Summenkurve der Menge aller pro infinitesimaler Zeiteinheit am Rastplatz gewesenen Individuen.

Das graphische Bild der Funktion v ist in Abb. 1c dargestellt. Der Kurvenverlauf entspricht den in der Praxis anzutreffenden Befunden. Die von dieser Kurve und der Abszisse begrenzte Fläche erscheint als ein geeignetes Maß, um Veränderungen der Populationsgröße in den periodisch wiederkehrenden Wanderungen zu ermitteln. Die Fläche entspricht der Summe aller im gesamten Beobachtungszeitraum pro Zeiteinheit als anwesend gezählten Individuen. Dabei werden über die Funktionen z(t) und w(t) keine anderen als die eingangs gestellten Bedingungen gefordert. Die Verlaufsformen der Zu- und Abwanderung können wechseln. Die einzige Voraussetzung, die eingehalten werden muß, ist ein im Durchschnitt gleichbleibendes Verweilverhalten, insbesondere was die mittlere Verweildauer der Individuen betrifft. Ist diese Voraussetzung gegeben, so läßt sich zwischen Zu- und Abwanderung, d. h. $z = z(t)$ und $w = w(t)$ folgender funktionaler Zusammenhang herstellen:

$$w = f[z(t)] \tag{7}$$

Systemtheoretisch ausgedrückt würde zwischen Ein- und Ausgang eine feste Kennlinie bestehen. Wird die Kennlinienfunktion (7) über die Gleichungen (2), (3) und (5) in (6) eingeführt und der gesamte Durchzugszeitraum T betrachtet, so ergibt sich:

$$M\,(T) = \int_{o}^{T} v\,dt = \int_{o}^{T}\int s_z\,dt\,dt - \int_{o}^{T}\int \left\{ \int f[z(t)]\,dt \right\} dt\,dt \tag{8}$$

Wie sich zeigt besteht zwischen der Menge M, der während der gesamten Durchzugszeit T in äquidistanten Zeitintervallen dt aufsummierten Zahlen der anwesenden Individuen und der Größe der durchziehenden Population – bei einer stabilen, definierten Abhängigkeit des Abzuges vom Zuzug – ein gesetzmäßiger Zusammenhang. Die Größe M nimmt zu, wenn s_z zunimmt, und verringert sich, wenn s_z abnimmt. M ist daher bestens geeignet, als ein indirektes Maß für die Populationsgröße zu dienen, an dessen Größenänderung sich tendenzielle Veränderungen der wandernden Populationen erkennen lassen. Die Kennlinienfunktion kann im einfachsten Falle eine Gerade sein und die Beziehung zwischen w(t) und z(t) durch ein Faltungsintegral beschrieben werden. Ist die Kennlinie nicht linear, so führt dies zu sehr kompliziert zusammengesetzten Faltungsintegralen, für die keine geschlossenen Lösungen mehr existieren und deren Auswertung nur mit Hilfe von Rechenanlagen möglich ist.

Die Bestimmung von M kann in der Praxis durch Ausmessen der Fläche unter der $v = v(t)$-Kurve (Abb. 1c) erfolgen, die durch Auftragen der in gleichen Zeitabständen vorgenommenen Individuen-Zählungen am Rastplatz erstellt wird. Da die oben gemachten Ausführungen nicht nur für den stetigen, sondern im Prinzip auch für den diskreten Fall durchgeführt werden können, ist es genau so gut möglich, die Ordinatenwerte der $v = v(t)$-Kurve in äquidistanten Abständen zu summieren; man muß nur über die Jahre hin bei ein und derselben Methode bleiben. Fehlt an einer Stelle der Meßwert, so kann er aus den benachbarten interpoliert werden. Die Kurvenbilder nehmen im diskreten Fall die Gestalt von entsprechenden Polygonzügen an.

Ermittlung der Trendlinie

Wurden mehrere Wanderungsperioden hindurch Zählungen vorgenommen, aus denen sich die entsprechenden M's bestimmen lassen, so können diese M-Werte mit Hilfe der vielfältigen Methoden der Zeitreihenanalyse sowohl hinsichtlich ihrer zeitlichen Trends als auch in bezug auf die Frequenz eventueller zyklischer Schwankungen untersucht werden. Um einen ersten Hinweis über mögliche Veränderungen und deren Richtung – d. h. Zu- oder Abnahme bzw. Konstanz des Populationsbestandes – zu erhalten, sei hier, von den zur Auswahl stehenden Verfahren, die einfache lineare Trendanalyse nach der Methode der kleinsten Quadrate gewählt. Bei dieser, aus der Regressionsrechnung sich herleiten-

den Trendermittlung, läßt sich der Trend nach Ausmaß und Richtung an der absoluten Größe und dem Vorzeichen des Richtungskoeffizienten der Regressionsgeraden ablesen. Ist

$$\hat{M} = a+bt \quad (9)$$

die Gleichung der Regressionsgeraden, so sind in unserem Zusammenhang lediglich Größe und Vorzeichen von b interessant. Dieser Art der Trendrechnung wurde hier unter anderem deswegen der Vorzug gegeben, weil sie sich bei Zeitintervallen (t_i-t_{i-1}) die gleich Eins sind, was bei saisonalen Erscheinungen, die sich in jährlichem Abstand wiederholen ja annähernd der Fall ist, besonders einfach gestaltet. Der Wert von b ergibt sich dann aus folgenden Ausdrücken:

$$b = \frac{12}{n\,(n^2-1)} \sum_{i=1}^{n} M_i \left(i - \frac{n+1}{2}\right) \quad (10)$$

wobei n die Anzahl der Jahre bzw. Beobachtungsperioden und i den laufenden Index ($i = 1, 2, \ldots, n$) bedeuten. Durch das gewählte Verfahren erfolgt im Koordinatensystem eine Verschiebung nach links derart, daß die Mitte des betrachteten Zeitraumes n in den Koordinatenursprung zu liegen kommt und die eine Hälfte der Zeiteinheiten ($t_i = (i - \frac{n+1}{2})$) negativ, die andere Hälfte positiv „numeriert" wird. Bei ungerader Anzahl von Zeiteinheiten sind die Werte ganzzahlig, bei gerader gebrochen. Durch diese Verschiebung und quasi Neunumerierung der zeitlichen Abschnitte ändert sich an der Ermittlung von b nichts, da der Richtungskoeffizient translationsinvariant ist. Wird außer der Richtung und dem Ausmaß der Veränderung auch noch die gesamte Trendlinie in Gestalt der Regressionsgeraden (10) gewünscht, so muß zusätzlich die Konstante a berechnet werden. Sie ergibt sich aus:

$$a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} M_i$$

Ist der zeitliche Abstand der Beobachtungsperioden ungleich Eins, so sind die üblichen Verfahren zur Ermittlung der Regressionsgeraden anzuwenden, die aus einschlägigen Lehrbüchern der Statistik zu entnehmen sind.

Bei negativem Vorzeichen von b nimmt der Bestand ab, bei positivem zu. Je mehr der Absolutwert $|b|$ von 0 abweicht (erforderlichenfalls ist die Signifikanz gegen 0 zu testen), desto stärker ist die Veränderung im betrachteten Zeitraum.

Unter Beachtung der gemachten Voraussetzungen, insbesondere des stabilen funktionalen Zusammenhanges von Zu- und Abwanderung, was im wesentlichen bedeutet, daß im Durchschnitt eine gleichbleibende Verweildauer am Rastplatz eingehalten wird, ist mit der hier dargestellten Methode eine zuverlässige Abschätzung langfristiger Bestandsentwicklungen wandernder Tierpopulationen möglich.

Zusammenfassung

Rastplätze in Durchzugsgebieten ermöglichen häufig die bequeme zahlenmäßige Erfassung dort verweilender Individuen wandernder Populationen. Es wird gezeigt, daß durch Zählung in regelmäßigen Zeitabständen und Summierung der einzelnen Zählergebnisse über die gesamte Durchzugszeit hinweg ein Maß gewonnen werden kann, an dem sich langfristige Veränderungen der Bestandsentwicklung erkennen lassen.

Anschrift des Verfassers:
Dr. Hubert Fechter,
Zoologische Staatssammlung
Maria-Ward-Str. 1b, 8000 München 19